

02 | Hacia la idea de ciudades inteligentes. Las propuestas alternativas de ciudad de Juan Navarro Baldeweg para el Centro de Cálculo de Madrid Towards the idea of smart cities. The alternative city proposals of Juan Navarro Baldeweg for Madrid-based Centro de Cálculo_Covadonga Lorenzo Cueva

A mediados de los años sesenta, durante una estancia en el Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid –hoy en día Universidad Complutense–, Juan Navarro Baldeweg trabajaría en una serie de propuestas urbanas alternativas, que parecen adelantarse a algunas de las ideas asociadas hoy en día a lo que se han venido a denominar como ciudades inteligentes. Dichas ideas priorizaban una mayor participación ciudadana en la conformación de la ciudad y el empleo de nuevas tecnologías para el diseño de ciudades más dinámicas, conectadas, eficientes y sostenibles. El presente artículo plantea una revisión de sus investigaciones, en las que se resumían una serie de presupuestos teóricos y se avanzaban algunos modelos experimentales que le sirvieron para indagar sobre el papel de la tecnología en la creación de nuevos entornos urbanos y para reflexionar sobre las aplicaciones de la informática en la arquitectura y la planificación urbana.

Introducción

Juan Navarro Baldeweg (1939) termina sus estudios de arquitectura en el año 1965 y un año después se incorpora como profesor en la cátedra de Elementos de Composición de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, que entonces dirigía Anto-

Resumen pág 64 | Bibliografía pág 68

Universidad CEU. Covadonga Lorenzo Cueva, arquitecta por la Universidad Politécnica de Madrid, y Máster en Diseño Arquitectónico y Doctor Arquitecto por la Universidad de Navarra. Tras seis años trabajando en Arquitectura Viva, actualmente es Profesora Colaboradora Doctora del Departamento de Arquitectura y Diseño de la Universidad CEU, donde además es Directora del Laboratorio de Fabricación Digital y Jefa de Redacción de la Revista Constelaciones.
lorenzocovadonga@gmail.com

Palabras clave

Ciudad inteligente, Navarro Baldeweg, tecnología, planeamiento urbano, arquitectura informática
Smart city, Navarro Baldeweg, technology, urban planning, computing architecture

Método de financiación

Financiación propia

¹ LYNCH, Kevin. *The Image of the City*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1960.

² CULLEN, Gordon. *The Concise Townscape*. Nueva York: Routledge, 1961.

³ ALEXANDER, Christopher. *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1964.

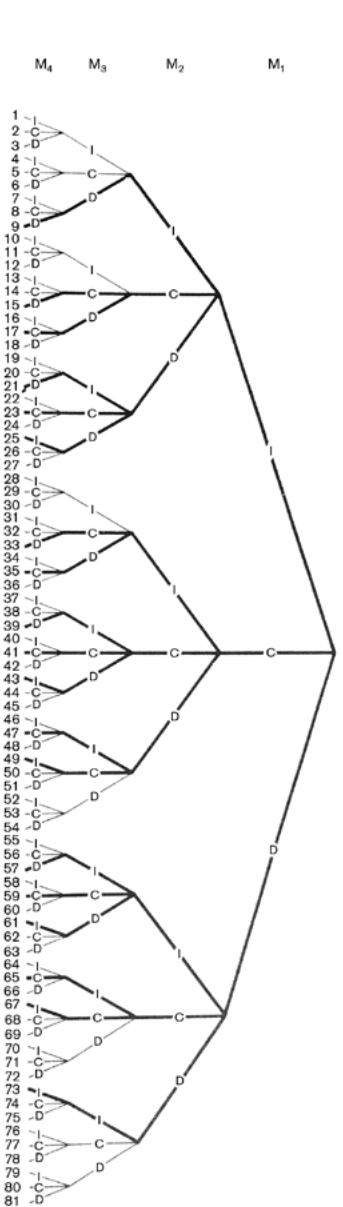
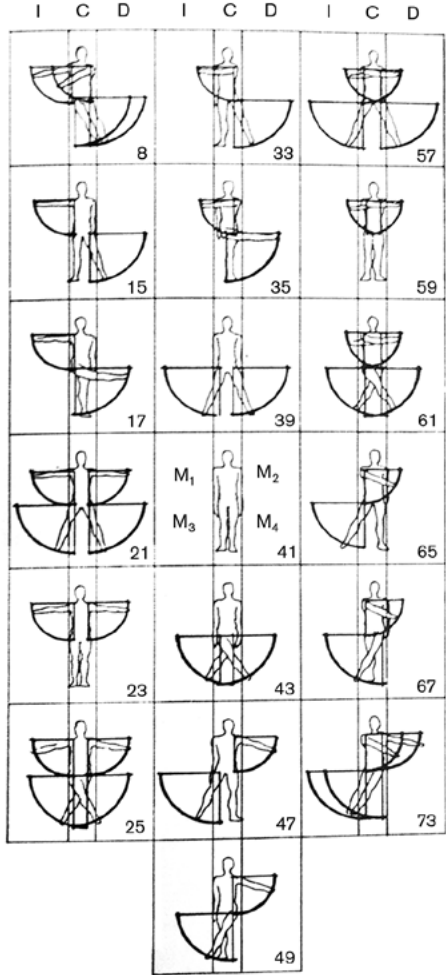
⁴ El Team X estaba compuesto por J. B. Bakema y A. Van Eyck, de Holanda; C. Gandillis y S. Woods, de Francia; A. & P. Smithson y J. Voelcker, de Inglaterra; J. Soltan, de Polonia; G. Grung, de Noruega; R. Erskine, de Suecia, y J. Coderch, de España. Véase: SMITHSON, Peter. "Team X", *Architectural Design* n° 12. Londres, 1962 (Con aportaciones de J. Bakema, G. Candilis, J. Coderch, A. van Eyck, R. Erskine, G. Grung, A. y P. Smithson, J. Soltan, J. Voelcker y S. Woods).

⁵ Los miembros del grupo Archigram fueron W. Chalk, R. Herron, D. Crampton, P. Cook, D. Greene, M. Webb. Véase: COOK, Peter. "Plug in Cities", *Archigram Magazine* n° 4, Londres, 1964.

⁶ "Todos teníamos ganas de salir de España, donde la vida cultural era más bien escasa, por mucho que yo estudiara en un Colegio Mayor, donde la actividad era algo más intensa. (...) Llegué, recuerdo, cuando Londres era una referencia de transformación de los modos de vida, principalmente de la juventud". NAVARRO Baldeweg, Juan. "Juan Navarro Baldeweg" (Entrevista de Armando Arconada), *Revista de Cantabria* n° 87. Santander: Caja Cantabria, 1997.

⁷ En palabras de Richard Llewelyn-Davies "(...) los avances en la disciplina arquitectónica deben partir de un estudio estructurado y sistemático y una buena parte de dicho estudio debe ser desarrollado en las escuelas y facultades de arquitectura". LOBSINGER, Mary Louise, "Two Cambridges. Models, Methods, Systems, and Expertise", *A Second Modernism*. MIT, *Architecture and the Technosocial Moment*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2013.

[1] Juan Navarro Baldeweg. Diagramas sobre el equilibrio en el medio gravitatorio (1970). NAVARRO Baldeweg, Juan, SA1. *Seminarios de Análisis y Generación Automática de Formas Arquitectónicas*, Cuaderno 2. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, 1972.



nio Fernández-Alba junto con Leopoldo Uría y Julio Vidaurre Jofre. Al mismo tiempo, comienza a desarrollar sus estudios de doctorado centrados en el campo del urbanismo, disciplina que desde principios de la década de los sesenta se veía inmersa en un proceso de reformulación, derivado de la actitud crítica que se había adoptado contra los esquemas urbanos funcionalistas del Movimiento Moderno. El diseño urbano era entonces cuestionado como un modelo deficiente que se aferraba a valores y teorías propias de la arquitectura cargadas de una visión determinista y que no consideraban la enorme capacidad de adaptación de los ciudadanos a la condición de permanente cambio innata de las ciudades.

Entre las iniciativas que proponían nuevas alternativas destacaban los estudios de Kevin Lynch ¹, donde se ponía de manifiesto la importancia del sujeto en la percepción de la ciudad; Gordon Cullen ², con su ensayo sobre la noción de “*townscape*” y Christopher Alexander ³, quien trataba de definir las competencias de una disciplina que permitiera la participación colectiva en la planificación urbana partiendo de un análisis directo de la realidad. Junto a ellos, destacaban diversos grupos de arquitectos europeos que centraban sus elaboraciones teórico-prácticas en la proposición de nuevas ciudades, como era el caso del Team X ⁴, con su concepción de ciclos largos y cortos de las estructuras físicas en relación a sus períodos de obsolescencia; el Groupe d'Études de Architecture Mobile –liderado por Yona Friedman– con sus proposiciones de esqueletos megaestructurales que manifestaban los caracteres de movilidad y ligereza del nuevo medio ambiente; el arquitecto Cedric Price, con propuestas que proponían la flexibilidad y adaptabilidad extrema en la configuración de sus espacios y el grupo Archigram ⁵, con sus deliberadamente utópicas y futuristas Walking City y Plug in City. En Estados Unidos, la búsqueda de otras vías para resolver los problemas generados por el urbanismo existente encontró una solución en las propuestas para el centro histórico de Philadelphia de Louis I. Kahn, realizadas entre 1956 y 1962. En el proyecto para el estudio del tráfico, encargado por la Philadelphia Redevelopment Authority y desarrollado junto a sus alumnos, Kahn desplaza su atención hacia los sistemas de conexión urbanos, excluyendo por tanto el ámbito tipológico. Influido por estos dibujos, Navarro Baldeweg realizaría un proyecto para resolver la congestión del tráfico en la ciudad de Nueva York, proponiendo la colocación de sensores en los automóviles que fijaran su posición y, a la vez, recogieran y transmitieran al conductor información sobre la densidad de tráfico de las calles adyacentes. Los planos del proyecto muestran unos conos que representan las posiciones de los vehículos e indican mediante flechas las alternativas de movimiento a seguir según la información recibida. Propone, por lo tanto, el empleo de las nuevas tecnologías para crear un sistema dinámico en el que los propios conductores regulan el tráfico a partir de la información recibida.

Joint Unit for Planning Research (1967-1968)

Durante el curso 1967-1968 Navarro Baldeweg permanecerá en Londres ⁶, asociado en calidad de investigador al Joint Unit for Planning Research, un centro de investigación dependiente de la Bartlett School of Architecture y la London School of Economics de la University College of London, que funcionaba bajo la dirección de Peter Cowan. Allí se estaban empleando nuevas metodologías de análisis de las necesidades urbanas, bajo la creencia de que, si algo había inherente al crecimiento de las ciudades era su carácter de proceso temporal. Los estudios que allí se fomentaban estaban referidos a lo que Cowan llamaba “patrones de intervención temporales” y buscaban relacionar las actividades que desarrollaban los ciudadanos a lo largo del tiempo con la estructura física del entorno y su organización espacial. Una de las ventajas de los patrones residía en que permitían identificar las necesidades desde el punto de vista de sus habitantes, atendiendo a las demandas reales de los diversos grupos sociales. Esto implicaba, por un lado, investigar en torno a programas de diseño dirigidos a detectar y organizar estas necesidades –reemplazando metodologías intuitivas ligadas a la disciplina del diseño urbano por otras de carácter científico– y, por otro lado, desarrollar métodos de evaluación y reajuste para los programas que se ejecutaban. Para conseguir estos objetivos, Cowan consideraba necesario dotar al arquitecto de los conocimientos tecnológicos necesarios para afrontar estas nuevas metodologías.

Esta línea de pensamiento era compartida también por el entonces recién nombrado director de la Bartlett, Richard Llewelyn-Davies, quien implantaría una serie de medidas orientadas a reforzar la investigación de carácter metodológico en el área del planeamiento urbano mediante la incorporación de nuevas tecnologías ⁷. Así, en 1967, se instala un ordenador en el centro informático de la universidad, gracias a un acuerdo firmado con IBM, para el tratamiento de la información recogida en torno a las actividades de los ciudadanos y la concepción de nuevas ordenaciones urbanas que respondieran a las demandas detectadas. Sumido en este contexto, Navarro Baldeweg se centrará en la teoría de sistemas de la información y la cibernética, como herramientas para el análisis medioambiental y la planificación urbana.

Las investigaciones realizadas a partir de la teoría cibernética de Norbert Wiener sobre el control y la comunicación entre sistemas animales y sistemas tecnológicos (1948) ⁸; la teoría de los autómatas de John von Neumann; la teoría de los sistemas de información de

Claude Shannon (1948); las herramientas aportadas por el matemático Alan Turing para medir la capacidad de demostrar inteligencia de una máquina (1950) y las teorías sobre gramática generativa de Noam Chomsky que aparecen en *Syntactic Structures* (1957), *Aspects of the Theory of Syntax* (1965) y *Cartesian Linguistics, A Chapter in the History of Rationalist Thought* (1965) sentaron las bases teóricas para la construcción de esta nueva disciplina, que se definía como una ciencia del control y la comunicación basada en complejas máquinas inteligentes que se construían a imagen y semejanza del sistema nervioso del hombre ⁹. Así, en la década de los cuarenta, gracias a una serie de avances tecnológicos, se crearon los primeros ordenadores ¹⁰, que progresaron rápidamente en su desarrollo a partir de la aparición de los circuitos integrados y el transistor. Además, en 1949 se publica *Ästhetische Information* ¹¹, uno de los textos fundacionales sobre el que se asentarían las bases de la primera exposición sobre gráficos generados por ordenador *Computergrafik* ¹², la muestra *Computer-Generated Pictures* ¹³ o la exposición que consagró definitivamente el arte cibernético: *Cybernetic Serendipity* ¹⁴, celebrada en Londres en el verano de 1968 y centrada en la aplicación de la cibernética en los procesos creativos de diferentes disciplinas como el arte, la música, la poesía, la danza, la arquitectura, la escultura y el diseño.

Después de su etapa en Londres, Navarro Baldeweg regresa a Madrid durante el curso académico 1968-1969 donde trabajará en la redacción de su tesis doctoral, centrada en la elaboración de sistemas urbanos desde el punto de vista de la cibernética, que presentará en la Universidad Politécnica en 1969 y será seleccionada posteriormente para el Gran Prix International D'Urbanisme et D'Architecture en París en 1971. “Mi tesis doctoral se titula *Sistemas Urbanos* y es una visión de la ciudad como organismo, analizada desde el punto de vista de la cibernética y la teoría de sistemas (...). Se trataba de un análisis de la cuestión muy objetivo, casi de carácter científico, que me dio una visión general de la ciudad. (...)” ¹⁵. La tesis sostenía que la dificultad de la propuesta que planteaba radicaba en la aprehensión de una realidad urbana de gran complejidad morfológica, fruto de su condición de sistema adaptado a un entorno en evolución permanente, y dotado de sofisticados mecanismos de autorregulación para mantener su equilibrio. Se proponía, por tanto, analizar la realidad existente mediante el uso de modelos urbanos dinámicos análogos, que simularan las acciones que tenían lugar en la ciudad, identificada con un sistema dinámico capaz de reajustarse y buscar el equilibrio mediante procesos de retroalimentación o *feedback* en base a las experiencias de los ciudadanos. Para mantener dicho equilibrio proponía diseñar una serie de dispositivos reguladores que permitieran la protección del sistema, canalizando adecuadamente los flujos ambientales para generar las condiciones más óptimas y buscando “establecer alguna conexión entre los sistemas artificiales y los sistemas urbanos, la moderna biología y la cibernética” ¹⁶.

Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid (1969-1971)

Tras finalizar la tesis doctoral, Navarro Baldeweg recibe una beca de IBM que le permitió desarrollar entre 1969 y 1971 su línea de investigación en el Centro de Cálculo de Madrid ¹⁷, donde se incorporó como investigador asociado al programa sobre Composición Automática de Espacios Arquitectónicos (CAEA), que se inscribía en los Seminarios de Análisis y Generación Automática de Formas Arquitectónicas. Allí, se centró en la traslación de los procesos tecnológicos al ámbito de lo social y el planeamiento urbano, en la línea de investigación de su tesis doctoral. Si en las conclusiones de la tesis ya apuntaba la necesidad de ampliar el concepto de sistemas urbanos a la noción de sistema artificial —entendido como herramienta de diseño que asegurase intervenciones sobre la realidad urbana que fueran consecuentes con las conductas sociales—, aquí desarrolla varias propuestas de dichos sistemas, que se publicaron en *SA1* ¹⁸. En dicha publicación, si bien apunta que las propuestas presentadas no dejan de ser “intentos”, su confianza en la validez de la aplicación de los sistemas artificiales como herramientas de planificación queda manifestada cuando admite: “En un aspecto práctico, la automatización, transfiriendo y asumiendo papeles humanos tiene y, sobre todo, tendrá fuertes repercusiones en la organización social; un punto de vista de este tipo puede guiar ventajosamente el diseño del medio físico en relación a la conducta”.

Acción y Diseño

La primera propuesta desarrollada por Navarro Baldeweg en el Centro de Cálculo se recogió en el artículo “Acción y Diseño” y consistió en un desarrollo teórico de la noción de sistema artificial, entendido como una herramienta de intervención sobre la realidad urbana, orientada a satisfacer las necesidades de los ciudadanos. Para definir las variables de este sistema artificial adoptará como modelo de referencia las del medio ambiente natural y fundamentará sus principios en el campo de la biología humana y en las capacidades de adaptación del hombre al medio. Para lograr esta adecuada adaptación propone un proceso de automatización, en el que el arquitecto se ayuda de la informática para recoger y procesar las demandas y necesidades de los usuarios en tiempo real y que a través de un proceso de retroalimentación se va autorregulando.

⁸ En *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Wiener hace una síntesis de una serie de investigaciones llevadas a cabo en el ámbito de las matemáticas puras —la teoría de la predicción estadística—, la tecnología, la biología y la psicología y delimita las funciones de la cibernética: una nueva ciencia destinada a cubrir todos los fenómenos que ponen en juego mecanismos de tratamiento de la información y medios de regulación en sistemas artificiales, que son los que permiten a dichos sistemas controlar su propio funcionamiento y gobernarse a sí mismos.

⁹ Véase: COUFFIGNAL, Louis. *Le dossier de la cybernétique*. Francia: Marabout Université, 1968.

¹⁰ El Z3 (1941), de Konrad Zuse, fue el primer ordenador del mundo plenamente funcional, controlado por programas y programable libremente, al que le siguió el Mark I (1944), construido en los laboratorios de IBM gracias a un equipo de investigadores de Harvard dirigidos por el matemático Howard Aiken.

¹¹ BENSE, Max, MOLES, Abraham. *Aesthetica (II). Aesthetische Information*. Baden-Baden: Agis, 1956.

¹² Comisariada por Georg Nees, la exposición se celebraría en 1965 en la galería del TH Stuttgart —actualmente University of Stuttgart—, en el marco del seminario internacional *Ästhetisches Colloquium* impartido por Max Bense.

¹³ La muestra se celebró en la Howard Wise Gallery de Nueva York, donde se expusieron los trabajos que habían estado desarrollando desde 1960 A. Michael Noll y Bela Julesz. Todos ellos trataban el arte cibernético desde el punto de vista de la imagen —la trama y la disposición de los colores—, trabajando con estos elementos como si de un sistema de signos o metasignos se tratara, y fueron numerosos los artículos que se escribieron relacionados con el arte permutacional. Véase: MOLES, Abraham A. *Théorie de l'information et perception esthétique*. París: Lettres, 1956.

¹⁴ La crítica de arte Jasja Reichardt comisarió la exposición, que se celebró en 1968 en el Institute of Contemporary Arts de Londres, organizada en tres secciones: en la primera se ofrecía un recorrido por aquellas obras, dispositivos y máquinas que resumían el corto recorrido de la historia de la cibernética y se incluyeron obras de Charles Csuri, Charles Pask, Frieder Nake, A. Michael Noll, John Whitney y Edward Ihnatowicz, considerados los padres fundadores del arte cibernético. En la segunda se mostraron máquinas, robots y entornos cibernéticos, como las máquinas de Jean Tinguely y John Billington y, por último, para la tercera, se seleccionaron dibujos, gráficos, música, escritura y cine electrónico, donde se pudieron ver las imágenes de Nam June Paik y el Computer Technique Group; la música electrónica de John Cage y Iannis Xenakis o las piezas cinéticas de Ivan Moscovitch y Vassilakis Takis, manifestando así la coincidencia temporal de una serie de obras que posteriormente tendrían fuertes implicaciones sobre la teoría de sistemas de la información. Véase: REICHARDT, Jasja. *Cybernetic Serendipity. The Computer and the Arts*. Catálogo de exposición. Londres: Studio International, 1968.

¹⁵ NAVARRO Baldeweg, Juan. “La luz es el tema” (Entrevista de Óscar Linares), *Revista Diagonal* n° 34, Barcelona, 2013.

¹⁶ NAVARRO Baldeweg, Juan. *Sistemas Urbanos. Exploraciones para la elaboración de modelos urbanos desde el punto de vista cibernético*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 1969.

¹⁷ El Centro de Cálculo había surgido en el año 1966 gracias a un acuerdo entre la Universidad de Madrid y la empresa norteamericana IBM, a través del cual, esta cedía a la universidad un equipo integrado por un IBM 7090 y un IBM 1401, además de una dotación económica para contratación de personal, formación y becas. Por su parte, la universidad se comprometía a construir un edificio para albergar los equipos y las actividades del centro, que se encargó a Miguel

Fisac. Según se explicaba en la memoria el centro, se construyó para fomentar las nuevas técnicas de cálculo automático en la investigación y en la enseñanza así como su difusión. Como director, se nombró a Florentino Briones Martínez, matemático de la Junta de Energía Nuclear; como subdirector a Ernesto García Camarero, fundador del Instituto de Cálculo de la Universidad de Buenos Aires y, finalmente, como responsable por parte de IBM a Mario Fernández Barberá, físico de formación y coleccionista de arte contemporáneo, lo que tuvo una gran repercusión en la orientación de las actividades del centro. Véase: CASTAÑOS Alés, Enrique, *Los orígenes del arte cibernético en España. El seminario de Generación Automática de Formas Plásticas del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid* (1968-1973). Málaga: Universidad de Málaga, 2000.

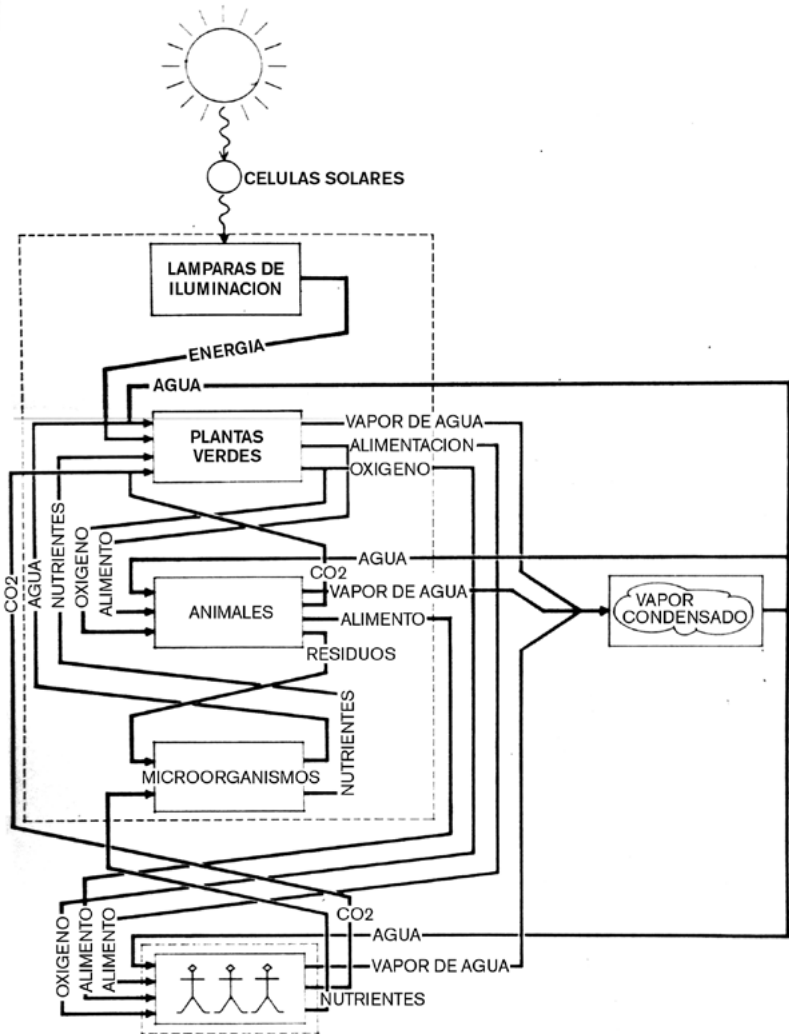
18 NAVARRO Baldeweg, Juan. "Acción y diseño", "Arquitectura informática", "El automática residencial", SA1. *Seminarios de Análisis y Generación Automática de Formas Arquitectónicas*, Cuaderno 2. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, 1972.

19 El concepto de retroalimentación o *feedback* es central a la noción de cibernética de Wiener, quien lo define como un método para regular sistemas mediante la introducción, como nuevos datos, de los resultados de cualquier acción sobre un sistema. Lo interesante de este proceso es que es automático, ya que lo que se aprende es un patrón de acción. Las investigaciones de Wiener y sus colaboradores se dirigieron a la investigación de este automatismo, a tantear si era posible la reproducción de este sistema de retroalimentación por medios artificiales, si era viable diseñar máquinas capaces de prever acciones complejas, anticiparse a ellas e incluso adaptarse a ellas; es decir, máquinas capaces de aprender.

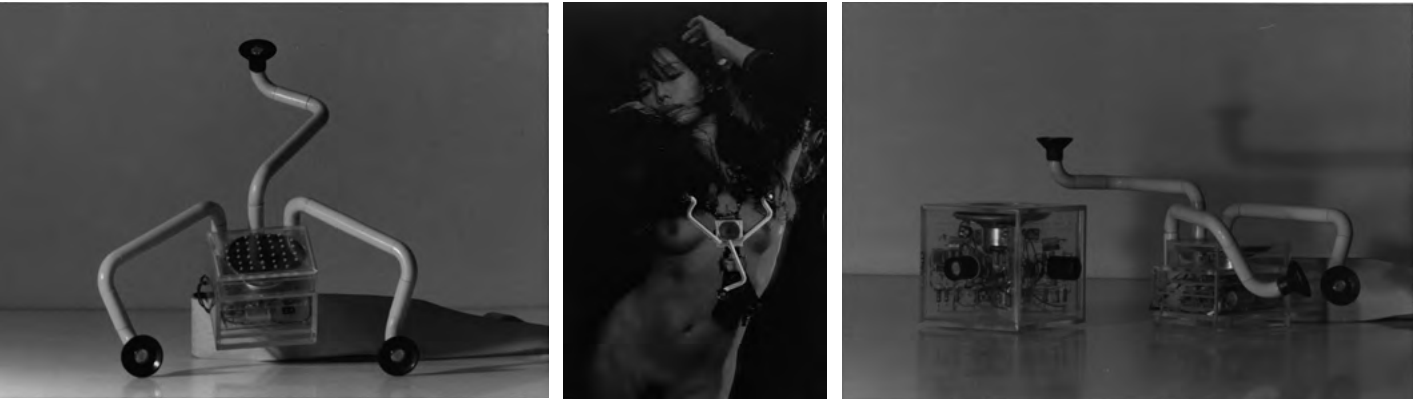
La noción de sistema artificial que había comenzado a apuntarse en las conclusiones de su tesis doctoral se desarrolla en la primera parte del artículo donde desarrolla una teoría del diseño en la que se incorpora la acción humana en base a la biología, la psicología, la antropología y la teoría de los sistemas. Para ello, comienza afirmando la existencia de una correspondencia y una continuidad entre lo natural orgánico y el medio en que se desarrolla la evolución humana y plantea la necesidad de devolver dicha condición natural al medio artificial en el que se han convertido las ciudades. Plantea que es necesario tener en cuenta, a la hora de diseñar el medio: las capacidades perceptivas y los estímulos que somos capaces de asimilar, así como la retroalimentación que recibimos del medio ¹⁹.

La segunda parte del artículo comienza estudiando un sistema de acción; más concretamente, se centra en el análisis de los fenómenos de constricción del equilibrio que se producen en un medio gravitatorio. [1] Para ello realiza una analogía, empleando la figura humana y sitúa sobre unos ejes de coordenadas todos los valores posibles asociados a tronco, brazos y piernas, colocando el tronco en el centro geométrico del dibujo, de modo que el esquema de movimiento de brazos y piernas quede limitado a unas superficies curvas. A continuación, plantea la posibilidad de imponer sobre dicho sistema la condición –o norma– de mantener el equilibrio en un medio gravitatorio, lo que permite descartar muchas combinaciones. De este modo, limita las posturas posibles sobre la matriz de estados tratando de compensar la posición, consiguiendo así definir una variedad existencial respecto a esta norma.

La última parte del artículo se centra en trasladar el concepto de homeostasis ²⁰ a la escala de un ecosistema, cuya madurez, subraya, radica en su estabilidad y en los mecanismos de amortiguación de las posibles perturbaciones provenientes del medio ambiente externo²¹. La aplicación de este mecanismo de regulación extraído de la biología, argumenta, podrá encontrar aplicación directa en los sistemas artificiales diseñados, por ejemplo, para la regulación del flujo de tráfico de las ciudades –evitando así grandes congestiones– o para la implantación de sistemas de control térmico en el interior de los edificios. Para ilustrar estas ideas desarrolla una propuesta utópica en la que define teóricamente un sistema cerrado ecológico, en el que se representen todos los ciclos vitales imprescindibles para la existencia humana, aplicando la idea de conservación homeostática que denomina "sistema-habitación". [2]



[2] Juan Navarro Baldeweg. Circuito de materia y energía del sistema ecológico lunar (1970). NAVARRO Baldeweg, Juan, SA1. *Seminarios de Análisis y Generación Automática de Formas Arquitectónicas*, Cuaderno 2. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, 1972.



[3]

Arquitectura Informática

En *The Human Use of Human Beings. Cybernetics and Society*²², Wiener analizaba las consecuencias que la cibernética y el uso de los ordenadores podía suponer para la sociedad. Su intención era reflexionar sobre las consecuencias sociales de un conjunto de herramientas y conceptos que resultaban novedosos en aquel entonces y que, a su juicio, la sociedad no estaba preparada para asimilar. La idea central que articulaba en el libro se basaba en la idea de que la sociedad podía ser comprendida a partir de un estudio de los mensajes que se intercambiaban y los medios con que contaba para comunicar estos mensajes. Siguiendo esta misma línea, en el artículo “Arquitectura informática”²³, Navarro Baldeweg identifica las ciudades con universos de información, argumentando la necesidad de la figura de un arquitecto que tenga la capacidad de planificar y manipular dichos entornos. Comienza el artículo definiendo los factores que intervienen en la comunicación y analizando de qué manera el impacto del desarrollo de las comunicaciones puede llegar a afectar al entorno urbano, para terminar argumentando que una mejora en la calidad de vida debe pasar por el desarrollo de una técnica de planeamiento orientada a manejar el material informacional.

La obra fundacional de lo que ha pasado a denominarse Teoría de la Información fue publicada por Claude Shannon y Warren Weaver bajo el título *A Mathematical Theory of Communication*²⁴ en el año 1948 y se centraba en la búsqueda de técnicas apropiadas para mejorar la calidad de la comunicación y en el estudio de los cinco elementos fundamentales de un sistema de comunicación: una fuente de información que origina un mensaje, un transmisor que transforma o codifica esta información para adaptarla al medio de transmisión –el mensaje así transformado se denomina señal–; un canal a través del cual circula la señal –a lo largo de la transmisión por el canal la señal producida puede quedar alterada por diversas causas que se engloban bajo la denominación de ruido–; un receptor que transforma o descodifica la señal para recuperar el mensaje original y un destinatario de la información. Para Navarro Baldeweg, además de los cinco elementos indicados anteriormente, en la comunicación era necesario considerar también ciertos factores metalingüísticos como la intencionalidad, la conciencia o la voluntad. Afirmaba, por tanto, que para desarrollar una investigación en la que fuera posible fundamentar una arquitectura informática era necesario emplear una taxonomía en la que intervinieran los factores psicológico-físicos, espaciales y temporales de la comunicación entre seres humanos, especificando el emisor, medio y receptor así como la intención del emisor y la conciencia del receptor; la organización espacial; la tipología de las señales –entendidas como funciones variables–; el tipo de acoplamiento y, finalmente, el alcance –las distancias–.

En relación con este último, el alcance, Navarro Baldeweg se basaría en las teorías de la proxémica, del uso y control del espacio, enunciadas por el antropólogo Edward T. Hall²⁵ para describir las distancias entre las personas mientras estas interactuaban entre sí. Así, identificaría la distancia con una pantalla que limitaba la transmisión de información y asociaba gráficamente esta idea con unas burbujas de diferentes diámetros que rodeaban a los individuos y que, al traspasarse, producían la transmisión de información. Se proponía, a través de la arquitectura informática, controlar las distancias interpersonales mediante la creación de ayudas artificiales para manipular la información, equilibrando la emisión y recepción de los mensajes e interviniendo en el entorno físico a través de la creación de un sistema artificial.

Para ilustrar estas ideas propuso un modelo experimental que ilustraría a través de *Sounding Mirror –Espejo Sonoro–* (1970), [3] donde se explicaba la interacción social que podía llegar a proporcionar un pequeño dispositivo de uso personal que denominó ISOFO –integrador social óptico-fónico-óptico– y que definiría como un complemento para la recepción y emisión de información, complementario a receptores y emisores orgánicos de un ser humano, un “transductor” luz sonido óptico fónico (...) sensible a la luz, que traducía las impre-

[3] Izquierda. Juan Navarro Baldeweg. *Sounding Mirror* (1971). Fotografía del transductor ISOFO (1971). Center for Advanced Visual Studies Special Collection (CAVSSC), Massachusetts Institute of Technology, Program in Art, Culture & Technology, Cambridge, Massachusetts. Centro Juan Navarro Baldeweg. *Sounding Mirror* (1971). Fotomontaje. Center for Advanced Visual Studies Special Collection (CAVSSC), Massachusetts Institute of Technology, Program in Art, Culture & Technology, Cambridge, Massachusetts. Derecha. Juan Navarro Baldeweg. *Sounding Mirror* (1971). Fotografía del transductor ISOFO (1971). Center for Advanced Visual Studies Special Collection (CAVSSC), Massachusetts Institute of Technology, Program in Art, Culture & Technology, Cambridge, Massachusetts.

[4] Juan Navarro Baldeweg. Diagrama de posibles señales y mensajes interpersonales (1970). NAVARRO Baldeweg, Juan, SA1. *Seminarios de Análisis y Generación Automática de Formas Arquitectónicas*, Cuaderno 2. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, 1972.

20 Para el estudio de este concepto aplicado a los sistemas autorregulados (cibernéticos), Navarro Baldeweg se basa en los escritos de William R. Ashby, quien lo define como la capacidad de un sistema para mantener ciertas variables en un estado estacionario, de equilibrio dinámico o dentro de ciertos límites, cambiando parámetros de su estructura interna. El desarrollo de estas ideas dio lugar al campo de estudio de los sistemas biológicos como sistemas homeostáticos y adaptativos en términos de matemática de sistemas dinámicos. Véase: ASHBY, William R., *Design for a Brain*. Londres: Chapman & Hall, 1952.

21 Sobre el concepto de ecosistema Navarro Baldeweg se basa en las investigaciones de Eugene P. Odum, quien afirmaba que el desarrollo de las sociedades humanas podía encontrar muchos paralelismos en la biología del crecimiento de los organismos y el

desarrollo de los ecosistemas. Odum definía un ecosistema, o un sistema ecológico, como una unidad de organización biológica constituida por todos los organismos existentes en un área dada —es decir, una comunidad— que interactúan con el entorno físico. Concebía, por tanto, los ecosistemas como unidades en sí mismas y afirmaba que su desarrollo comenzaba con unas etapas iniciales de baja diversidad, para evolucionar a otras más maduras, de mayor diversidad y complejidad que asociaba con el logro de una mayor estabilidad del sistema. Véase: ODUM, Eugene P. *Ecology*. Nueva York: Rinehart & Winston, 1963.

22 WIENER, Norbert. *The Human Use of Human Beings. Cybernetics and Society*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1950.

23 NAVARRO Baldeweg, Juan. "Architecture Informatique", *L'Ordinateur et la Créativité*. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, 1970. Publicado posteriormente en SA1. *Seminarios de Análisis y Generación Automática de Formas Arquitectónicas*, op cit.

²⁴ SHANNON, Claude y WEAVER, Warren. *The Mathematical Theory of Communication*. Illinois: University of Illinois Press, 1948.

²⁵ Con el término proxemia, Hall se refería al empleo y la percepción que el ser humano hace de su espacio físico y de su intimidad personal y definía las distancias interesaciales entre emisores y receptores según las funciones sociales, enumerándolas como íntima, personal, social y pública. Véase: HALL, Edward T. *The Hidden Dimension*. Cambridge, Massachusetts: Anchor Books, 1966.

26 NAVARRO Baldeweg, Juan. "L'Automate Residencial", *L'Ordinateur et la Creativite*, *op.cit.* Publicado posteriormente en NAVARRO Baldeweg, Juan. "El Automata Residencial", *Nueva Forma* n° 78-79, Madrid, 1970 y en SA1. *Seminarios de Análisis y Generación Automática de Formas Arquitectónicas, op cit.*

²⁷ Véase: VON NEUMANN, John. *The Computer and the Brain*. New Haven: Connecticut, 1958 y VON NEUMANN, John. "The General and Logic Theory of Automata", *Cerebral Mechanisms in Behaviour*. Nueva York: Wiley, 1951.

siones lumínicas en diversos efectos fónicos. Unos esquemas, [4] mostraban las relaciones interpersonales que a nivel de pareja y de grupo podían establecerse entre los participantes, que se situaban bajo una especie de nube fónica generada en la interacción que regulaba las decisiones individuales. [5] Se concluyó, tras la elaboración del modelo, que este podría emplearse para experimentar sobre los fenómenos de coordinación social: el consentimiento, la cooperación, la interdependencia y el consenso. Además, una vez analizado a escala social, podría ampliarse el entorno a nivel local o mundial, estableciendo entre los usuarios niveles telemétricos vía radio y vía satélite y organizando *happenings* a escala global. Pero más allá de las posibles aplicaciones, el modelo permitió experimentar con la construcción de un sistema artificial informacional como entorno humano.

El autómata residencial

En el segundo modelo desarrollado en el Centro de Cálculo, presentado en el artículo “El autómata residencial”²⁶ incorporará el uso de ordenadores aplicados a dos ámbitos: la arquitectura y el urbanismo. En el primer ámbito el modelo se aplica al campo de lo doméstico, a través de la creación de un espacio vacío construido con componentes móviles, flexibles e interactivos que se ajustan a las demandas del usuario siguiendo las indicaciones que este le proporciona mediante la interfaz de un ordenador. A partir de ahí, plantea la automatización de la producción de los espacios que constituyen las unidades habitables.

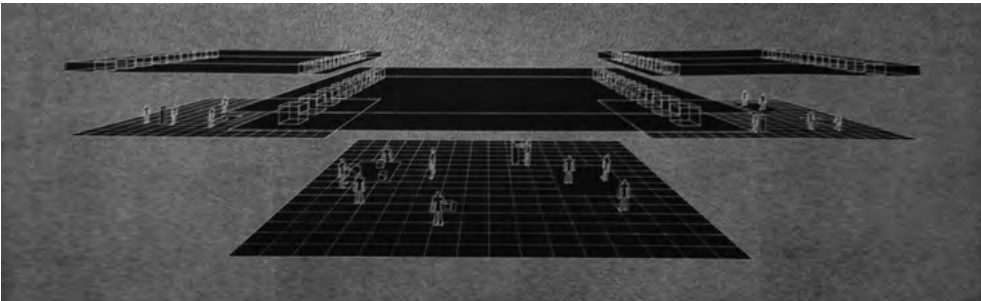
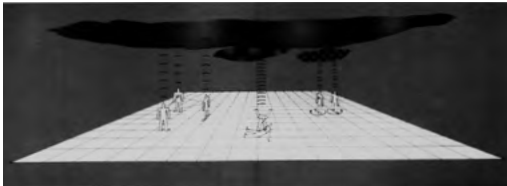
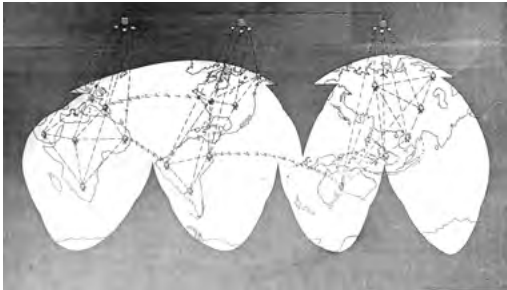
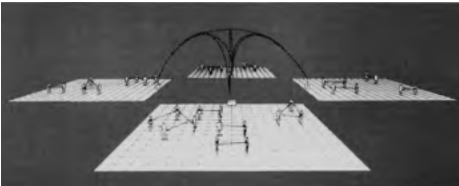
Así, el *Autómata Residencial* es un sistema artificial cuya denominación hace referencia a la teoría de los autómatas enunciada por von Neumann, quien emplearía el término “*autómata*”²⁷ para describir cualquier sistema que procesara información y que incorporara un mecanismo de autorregulación. El *autómata* que proponía Navarro Baldeweg se organizaba en dos niveles: el primero consistía en un espacio construido a base de componentes móviles, flexibles y controlables que se autogenera en tiempo real, según las condiciones económicas, culturales y otras necesidades del usuario. El segundo se definía como un centro de planificación a modo de matriz de espacios.

El espacio generado en el primer nivel adoptaría su forma en función de los deseos de actividad del usuario. Un sistema informático incorporado incluiría tres elementos: en primer lugar, sensores encargados de percibir los deseos del usuario; en segundo lugar, un sistema nervioso central que se encargaría de la coordinación de los distintos mecanismos y, por último, unos actuadores físicos que permitirían operar sobre el espacio como, por ejemplo, cerramientos hinchables de control neumático y electrostático; paneles móviles aislantes opacos, translúcidos y transparentes; puntos de luz regulables capaces de cambiar de posición según la actividad del usuario; sistemas de aire acondicionado, etc.

[4]

[illegible]

[5] Juan Navarro Baldeweg. Diagramas de posibles usos del transductor para establecer relaciones interpersonales o para entablar vínculos telémétricos con otros lugares (1970). NAVARRO Baldeweg, Juan, *El medioambiente como espacio de significación* (Memoria de investigación). Madrid: Fundación Juan March, 1975.



[5]

El espacio generado en el segundo nivel, instalado sobre la red de comunicaciones, también constaría de tres partes: los receptores –que comprenderían el sistema industrial y los habitáculos–; un sistema nervioso central, constituido por el centro de planificación y diseño que se encargaría de crear los programas para los habitáculos en base a una modulación basada en el dominio métrico espacial y en variables antropométricas y energéticas y, finalmente, los actuadores, que serían el centro productor de espacios y componentes para recambios y que se concebía como una fábrica automatizada de producción.

Este estudio le permitió ilustrar una previsión del uso del ordenador para el tratamiento de la información, orientado a regular la coordinación de un sistema artificial. Además supuso la creación de un modelo universal en el que se reflejaban las actividades y sistemas de información que involucraban a arquitectos y usuarios en la configuración de nuevos espacios. Pero, sobre todo, permitió poner en práctica una teoría del diseño desde la base de la teoría de la acción, en la que a través del análisis de la realidad arquitectónica y el entendimiento de la organización que subyace a dicha realidad se podían extrapolar sus características específicas, que son las que establecen la base de cualquier tipología.

Los dibujos que ilustraban la propuesta [6] representaban una malla tridimensional sobre la que se disponían una serie de componentes móviles, un sistema que se encuentra también en las primeras propuestas de Negroponte que aparecían ya en su tesis de licenciatura ²⁸. Basado en las teorías del biólogo y matemático D'Arcy Wentworth Thompson, recogidas en *On Growth and Form*²⁹ y en el libro de Christopher Alexander *Notes on the Synthesis of Form* ³⁰, Negroponte propone la intervención de los ciudadanos de forma consensuada en la conformación del espacio urbano y arquitectónico mediante la creación de un sistema artificial. Este se conformaría mediante una megaestructura modular a escala urbana en base a la idea de *movable grids*, una trama tridimensional estática basada en los trazados hipodámicos y con un módulo lo suficientemente pequeño como para que pudiera adaptarse a una topografía dada, sobre la que se dispondrían una serie de componentes móviles. La trama, asociada con una red en el espacio y definida por la posición de los puntos de intersección, permitiría una gran diversidad en la configuración de los espacios. En la misma línea se encontraba trabajando el arquitecto inglés Cedric Price, quien en el año 1961 había iniciado el proyecto para el Fun Palace, en colaboración con la directora teatral Joan Littlewood, en el que proponían un ámbito de interacción en la forma de una dotación urbana de carácter efímero que respondía a las necesidades de sus visitantes. El diseño se basaba en un sistema de andamios, muros y pasarelas móviles enlazadas mediante un sistema virtual que permitía reorganizar los espacios en función del flujo de visitantes. Así, más que un edificio, el proyecto podía considerarse como una gran máquina para diseñar espacios. Basado en las teorías de la cibernética y siguiendo los preceptos del teatro experimental de vanguardia, en el que el espectador era un actor más en la

²⁸ Véase: NEGROPONTE, Nicholas. *Systems of Urban Growth*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1965.

²⁹ WENTWORTH Thompson, D'Arcy. *On Growth and Form*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1967.

³⁰ ALEXANDER, Christopher. *Notes on the Synthesis of Form*, op. cit.

³¹ El proyecto, que no llegaría a construirse por problemas de índole burocrática, política y presupuestaria, adquiriría un grado de sofisticación mucho mayor en el *Generator* (1976), un centro social reconfigurable basado en una malla generada con un módulo cuadrado de 3,65 metros de lado, sobre la que se disponían elementos móviles cuya posición se alteraba en función de los deseos de los usuarios, gracias a un conjunto de programas de diseño asistido por ordenador que podían incluso realizar cambios no solicitados si el sistema detectaba que el usuario no estaba interactuando y no alcanzaba un número mínimo de cambios fijado con antelación. Con ello, Price llegaría a proyectar lo que él describiría como un edificio inteligente en un sentido casi literal, definiendo así el concepto de inteligencia urbana aplicado a la conformación de la ciudad, como una cualidad dinámica que se activaba por vía de la distribución de información y la interacción de los ciudadanos.

³² Negroponte se encontraba en aquel momento en la School of Architecture and Planning del MIT, donde dirigía junto con Leon Groisser el grupo Architecture Group Machine (Arch Mac) desde 1967. En él trataban de aplicar al campo de la arquitectura y el urbanismo los presupuestos teóricos y las innovaciones técnicas desarrolladas en el proyecto Computer Aided Design de Coons, como la visión simbiótica del diseñador y el ordenador, la necesidad de crear sistemas artificiales adaptables para resolver problemas arquitectónicos y urbanos o la concepción del diseño como un proceso iterativo. En 1966, Nicholas Negroponte había sido alumno de la asignatura Computer Aided Design impartida por Coons, quien se convertiría en el tutor de su tesis de máster en la que comenzó a concebir la idea del empleo de las máquinas para la simulación de la percepción. En *The Architecture Machine*, Negroponte propondrá instrumentalizar estos conocimientos para tratar de redefinir una práctica de la arquitectura de carácter científico y objetivo que permitiera la interacción del usuario en el proceso, mediante el uso de los ordenadores. Véase: NEGROPONTE, Nicholas. *The Architectural Machine: Toward a more Human Environment*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1973 y NEGROPONTE, Nicholas, *The Computer Simulation of Perception during Motion in the Urban Environment*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1966.

representación, se pretendía que el visitante participara activamente en la configuración de un espacio público y social ³¹.

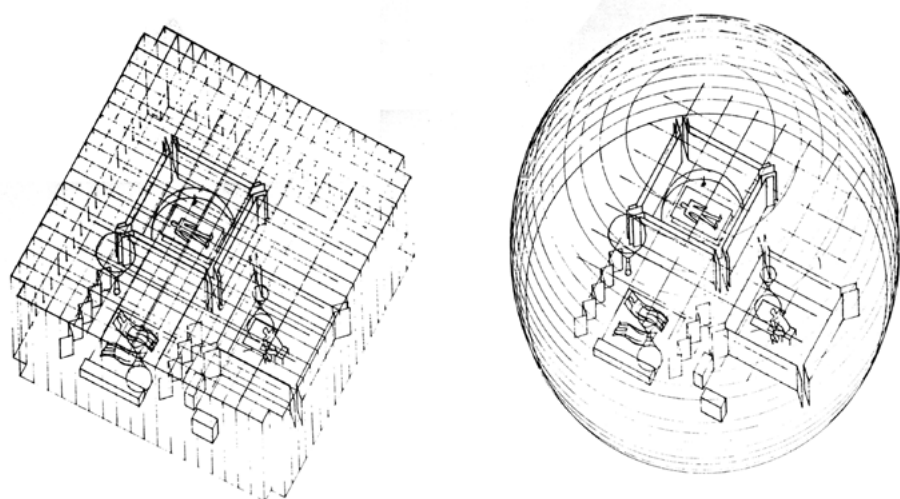
A partir de estas propuestas, Negroponte y Price plantearían una revisión de la profesión y la práctica profesional, en la cual, según pensaban, además de las consideraciones técnicas o estéticas se deberían tener en cuenta también cuestiones sociales, políticas y culturales. Los *mova-grids* de Negroponte evolucionarían en esta dirección, hacia proyectos orientados a la creación de medioambientes inteligentes capaces de interactuar con usuarios activos gracias al uso de sensores capaces de obtener información del entorno. Pretendía con ello que los ordenadores, más allá de actuar bajo las premisas de los usuarios, generasen sus propias decisiones en base a la lectura del entorno que le proporcionarían unos dispositivos sensoriales ³². Ambas líneas de trabajo compartían con el Autómata Residencial de Navarro Baldeweg su misma finalidad: establecer la utilidad de los ordenadores en la coordinación de sistemas artificiales, en la inclusión del usuario en la definición del espacio arquitectónico y en la reformulación de la teoría del diseño.

Conclusión

Las investigaciones de Navarro Baldeweg en el Centro de Cálculo le sirvieron para indagar sobre el papel de la tecnología en la creación de un nuevo entorno urbano y para reflexionar sobre las aplicaciones de la informática en el campo de la arquitectura. En la primera propuesta presentaría la idea de “sistema artificial” entendida como herramienta de acción e intervención sobre la realidad urbana, a partir de la cual plantearía la noción de “diseño” como un proceso automatizado que se apoya en la informática para recoger y procesar las demandas y necesidades de los usuarios en tiempo real. En la segunda analizaría la noción de “arquitectura informática”, a partir de los factores que intervienen en la comunicación y su impacto sobre el entorno urbano, presentando además el modelo experimental que utilizó para explorar la interacción social que podía llegar a proporcionar un pequeño dispositivo electrónico de uso personal, a través del cual pudo materializar un primer sistema de inteligencia artificial. Finalmente, en la tercera propuesta presentaría otro modelo más sofisticado, en el que incorporaba el uso de ordenadores aplicados tanto al campo de lo doméstico, a partir de la creación de unidades habitacionales construidas con componentes móviles, flexibles e interactivos que se ajustaban a las demandas del usuario, como al ámbito de lo urbano, planteando el modelo automatizado de producción masiva de las unidades mencionadas.

El artículo ha tratado de mostrar un aspecto poco conocido de la obra de Navarro Baldeweg, gracias a la revisión de estas propuestas teóricas e investigaciones que ayudan a entender la capacidad que ofrece la ciudad para construir un sistema artificial habitable mediante el correcto tratamiento de la información con el uso de los ordenadores. Hoy en día, algunas de estas ideas se han materializado, como el empleo del GPS, que se adelantaba en el proyecto para la regulación del tráfico en Nueva York o la nube de internet, que se intuía en el proyecto *Sounding Mirror*. Todas las propuestas priorizaban una mayor participación ciudadana en la conformación de la ciudad y el empleo de nuevas tecnologías para el diseño de ciudades más dinámicas, conectadas, eficientes y sostenibles. Estas propuestas cobran hoy día cierta relevancia, ya que intuían algunas ideas que se están revisando actualmente, dirigidas a la transformación de entornos urbanos en ciudades inteligentes, con el fin de dar respuesta a los problemas derivados del tráfico, la contaminación medioambiental, la falta de vivienda de calidad en los sectores sociales más desfavorecidos o las desigualdades de oportunidades de los ciudadanos en un mundo cada vez más dinámico.

[6]



[6] Superior. Juan Navarro Baldeweg. Axonometrias para el Autómata Residencial (1970). NAVARRO Baldeweg, Juan, SA1. *Seminarios de Análisis y Generación Automática de Formas Arquitectónicas*, Cuaderno 2. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, 1972.

02 | Hacia la idea de ciudades inteligentes. Las propuestas alternativas de ciudad de Juan Navarro Baldeweg para el Centro de Cálculo de Madrid _ Covadonga Lorenzo Cueva

Con motivo del cincuenta aniversario del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, se plantea una revisión de algunas de las propuestas alternativas de ciudad realizadas por el arquitecto Juan Navarro Baldeweg durante su estancia en dicho centro, a mediados de los años sesenta, que parecen adelantarse a algunas de las ideas asociadas hoy en día a lo que se han venido a denominar como ciudades inteligentes. Dichas ideas priorizaban una mayor participación ciudadana en la conformación de la ciudad y el empleo de nuevas tecnologías para el diseño de ciudades más conectadas, eficientes, asequibles y sostenibles.

Palabras clave

Ciudad inteligente, Navarro Baldeweg, tecnología, planeamiento urbano, arquitectura informática

02 | Towards the idea of smart cities. The alternative city proposals of Juan Navarro Baldeweg for Madrid-based Centro de Cálculo _Covadonga Lorenzo Cueva

On the occasion of the 50th anniversary of the Centro de Cálculo of Madrid's University, it is offered a review of some of the alternative city proposals made by the architect Juan Navarro Baldeweg during his stay at the Centre, in the middle of the 1960s, which seem to anticipate some of the ideas associated nowadays to what has come to be known as smart cities. These ideas prioritized greater community involvement in shaping the city, as well as the use of new technologies for the design of more connected, efficient, affordable and sustainable cities.

Keywords

Smart city, Navarro Baldeweg, technology, urban planning, computing architecture

02 | Hacia la idea de ciudades inteligentes. Las propuestas alternativas de ciudad de Juan Navarro Baldeweg para el Centro de Cálculo de Madrid _Covadonga Lorenzo Cueva

ASHBY, William R. *Design for a Brain*. Londres: Chapman & Hall, 1952.

ALEXANDER, Christopher. *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1964.

CARDOSO, Daniel. *Builders of the Vision. Technology and the Imagination of Design*. Cambridge, Massachusetts: Institute of Technology, MIT Press, 2012.

CASTAÑOS Alés, Enrique. *Los orígenes del arte cibernético en España. El seminario de Generación Automática de Formas Plásticas del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid (1968-1973)*. Málaga: Universidad de Málaga, 2000.

COOK, Peter. "Plug in Cities", *Archigram Magazine* nº 4, Londres, 1964.

COUFFIGNAL, Louis. *Le dossier de la cybernétique*. Francia: Marabout Université, 1968.

CULLEN, Gordon. *The Concise Townscape*. Nueva York: Routledge, 1961.

FANO, R.M.; CORBATÓ, F.J. "Time-Sharing on Computers", *Scientific American Magazine* (septiembre), 1966.

GARCÍA Asensio, Tomás. "Breve descripción del seminario de Generación Automática de Formas Plásticas del Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid", *El Centro de Cálculo: 30 años después*. (Catálogo de exposición). Alicante: Museo de Arte Contemporáneo de Elche, Museo de la Universidad de Alicante y Museo de Arte Contemporáneo de Ibiza, 2003.

HALL, Edward T. *The Hidden Dimension*. Cambridge, Massachusetts: Anchor Books, 1966.

LOBSINGER, Mary Louise, "Two Cambridges. Models, Methods, Systems, and Expertise", *A Second Modernism. MIT, Architecture and the Technosocial Moment*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2013.

LYNCH, Kevin. *The Image of the City*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1960.

MOLES, Abraham A. *Theórie de l'information et perception esthétique*. Paris: Lettres, 1956.

NAVARRO Baldeweg, Juan. *Sistemas Urbanos. Exploraciones para la elaboración de modelos urbanos desde el punto de vista cibernético*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, 1969.

NAVARRO Baldeweg, Juan. "Acción y diseño", "Arquitectura informática", "El autómatas residencial", *SA1. Seminarios de Análisis y Generación Automática de Formas Arquitectónicas*, Cuaderno 2. Madrid: Centro de Cálculo de la Universidad de Madrid, 1972.

NAVARRO Baldeweg, Juan, *El medioambiente como espacio de significación* (Memoria de investigación). Madrid: Fundación Juan March, 1975.

NAVARRO Baldeweg, Juan. "Juan Navarro Baldeweg" (Entrevista de Armando Arconada), *Revista de Cantabria* nº 87. Santander: Caja Cantabria, 1997.

NAVARRO Baldeweg, Juan. "La luz es el tema" (Entrevista de Óscar Linares), *Revista Diagonal* nº 34, Barcelona, 2013.

NEGROPONTE, Nicholas. *The Computer Simulation of Perception during Motion in the Urban Environment*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1966.

NEGROPONTE, Nicholas. *The Architectural Machine: Toward a more Human Environment*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1973.

NEGROPONTE, Nicholas. *Systems of Urban Growth*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1965.

ODUM, Eugene P. *Ecology*. Nueva York: Rinehart & Winston, 1963.

REICHARDT, Jasia. *Cybernetic Serendipity. The Computer and the Arts*, (Catálogo de exposición), Londres: Studio International, 1968.

SHANNON, Claude; WEAVER, Warren. *The Mathematical Theory of Communication*. Illinois: University of Illinois Press, 1948.

SMITHSON, Peter. "Team X", *Architectural Design* nº 12, Londres, 1962.

VON NEUMANN, John. *First Draft of a Report on the EDVAC*. Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, 1945.

VON NEUMANN, John; GOLDSTINE, Herman. *Planning and Coding of Problems for an Electronic Computing Instrument*. Part II, Vol. III. Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, 1947.

VON NEUMANN, John. *The Computer and the Brain*. New Haven: Connecticut, 1958.

VON NEUMANN, John. "The General and Logic Theory of Automata", *Cerebral Mechanisms in Behaviour*. Nueva York: Wiley, 1951.

WENTWORTH Thompson, D'Arcy. *On Growth and Form*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1967.

WIENER, Norbert. *The Human Use of Human Beings. Cybernetics and Society*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1950